



УДК 612.216

АНАЛИЗ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ЕГО ДЫХАНИЯ

PRELIMINARY STUDY OF VIDEO-BASED RESPIRATORY RATE ASSESSMENT

Пуртов Константин Сергеевич, ассистент деп. «Радиоэлектроники и связи», Институт радиоэлектроники и информационных технологий, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 32. E-mail: k.s.purtov@gmail.com. Тел.: +79502056015

Соколов Павел Андреевич, магистрант каф. «Прикладная математика», Уральский энергетический институт, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 5. E-mail: sokolovru@mail.ru. Тел.: +79638558534

Конторович Михаил Борисович, д-р. мед. наук, зав. отделением реанимации ГБУЗ СО «Противотуберкулезный диспансер», Россия, 620142, г. Екатеринбург, ул. Чапаева, 9. E-mail: kombo58@mail.ru. Тел.: +7(343)257-85-41

Чистяков Алексей Владимирович, главный конструктор ООО фирма «Тритон-электроникс», Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 12.

Костоусов Виктор Борисович, к.ф.-м.н., доцент, зав. отделом «Прикладных систем управления», Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения РАН, Россия, 620990, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 16. E-mail: vkost@imm.uran.ru. Тел.: +7(343)375-34-45

Кубланов Владимир Семёнович, д-р. техн. наук, профессор деп. «Радиоэлектроники и связи», Институт радиоэлектроники и информационных технологий, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 32. E-mail: kublanov@mail.ru. Тел.: +7(343)375-94-64

Konstantin S. Purtov, Assistant, Department of «Radioelectronics and communications», Engineering School of Information Technologies Telecommunications and Control Systems, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 32, Yekaterinburg, Russia. E-mail: k.s.purtov@gmail.com. Ph.: +79502056015

Pavel A. Sokolov, Master student, Department «Applied mathematics», Ural Energy Institute, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, S. Kovalevskaya str., 5, Yekaterinburg, Russia. E-mail: sokolovru@mail.ru. Ph.: +79638558534

Mikhail B. Kontorovich, Doctor Med. S., Head of Department of «Resuscitation», Regional Tuberculous Dispensary, 620142, Chapaeva str., 9, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kombo58@mail.ru. Ph.: +7(343)257-85-41

Alexey V. Chistyakov, Design department head, «Triton-electronics» LTD, 620100, Sibirskiy tract str., 12, Yekaterinburg, Russia.

Victor B. Kostousov, Associate Professor, Head. Department of «Applied Control Systems», N.N. Krasovskii Institute of mathematics and mechanics, Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 620990, S. Kovalevskaya str., 16, Yekaterinburg, Russia. E-mail: vkost@imm.uran.ru. Ph.: +7(343)375-34-45

Vladimir S. Kublanov, Doctor Sc., Prof., Department of «Radioelectronics and communications», Engineering School of Information Technologies Telecommunications and Control Systems, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 32, Yekaterinburg, Russia. E-mail: kublanov@mail.ru. Ph.: +7(343)375-94-64

Аннотация: В работе представлены результаты сравнительного анализа средней частоты дыхания человека полученной по данным сигнала электрокардиограммы (ЭКГ) и видеоизображениям движений грудной клетки. В исследовании приняло участие 4 человека в возрасте от 30 до 70 лет. В ходе исследования испытуемые лежали на спине. Суммарная длительность исследований составила 1,5 часа. Показано, что оценки средней частоты дыхания по данным видеоизображений сопоставимы с оценками получаемыми по

данным ЭКГ. Таким образом, определение дыхания по видеоизображениям может использоваться как альтернативный или дополнительный способ мониторинга или диагностики дыхания человека.

Abstract: This paper presents the results of comparative study in physiological monitoring of human respiration rate between electrocardiography-based (ECG) method and video-based method of chest motion detection. The study involved 4 subjects aged from 30 to 70 years. During the study each subject lied on back. Total duration of the study conduct 1.5 hours. The results show that video-based and ECG-based respiration monitoring methods shows similar average respiration rate values. The outcome of the present work incites that video-based respiration assessment can be used as alternative or additional method of human respiration monitoring or diagnosing.

Ключевые слова: физиология дыхания; частота дыхания; видео мониторинг; анализ движений.

Key words: respiration physiology; respiratory rate; video monitoring; motion analysis.

ВВЕДЕНИЕ

В организме человека непрерывно протекают окислительные процессы, для их поддержания необходимо постоянное поступление кислорода. Дыхательная система обеспечивает организм кислородом и освобождает от диоксида углерода. Поступление кислорода возможно благодаря чередующимся дыхательным движениям, состоящим из двух фаз – ритмичного сокращения (вдох) и расслабления мышц (выдох).

Остановка и нарушения дыхания смертельно опасны. Остановка дыхания, через 5-10 минут приводит к необратимым повреждениям организма в результате чего наступает биологическая смерть. Нарушения дыхания влияют на процессы жизнедеятельности человека. В последнее время наблюдается рост респираторных заболеваний, таких как апноэ, астма и др. Таким образом оценка параметров дыхания является значимой при определении физиологического состояния человека.

В настоящий момент выделяют контактные и бесконтактные методы оценки дыхания. К контактным методам относятся устройства использующие сенсоры температуры, размещаемые у ноздрей. Другим распространенным способом является использование тензодатчиков, регистрирующих растяжения/сжатия ремня на груди человека в процессе дыхания. Также показано, что частота дыхания может быть определена по данным электрокардиограммы (ЭКГ). К бесконтактным методам относят оценку аудиосигналов дыхания, а также использование инфракрасных датчиков температуры, или датчиков оксида углерода в выдыхаемом воздухе. Представленные выше методы имеют ограничения, связанные с обеспечением специальных условий измерения.

В настоящей статье рассматривается возможность оценки частоты дыхания по движениям грудной клетки на регистрируемых камерой видеоизображениях. Развитие этого метода позволит получать двумерные оценки дыхательных движений, с определенной области грудной клетки.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Работа была проведена в ГБУЗ СО «Противотуберкулезный диспансер» (Россия), совместно с сотрудниками Научно-исследовательского медико-биологического инженерного центра высоких технологий УрФУ (Россия) и фирмой ООО «Тритон-электроникс» (Россия). В исследовании приняло участие 4 добровольца (обоих пола), в возрасте от 30 до 70 лет.

Для чистоты эксперимента на движения испытуемых не накладывалось практически никаких ограничений. Единственным требованием являлось нахождение в положении лежа на кровати, так чтобы грудная клетка находилась в кадре. Схематическое изображение эксперимента представлено на рис. 1.

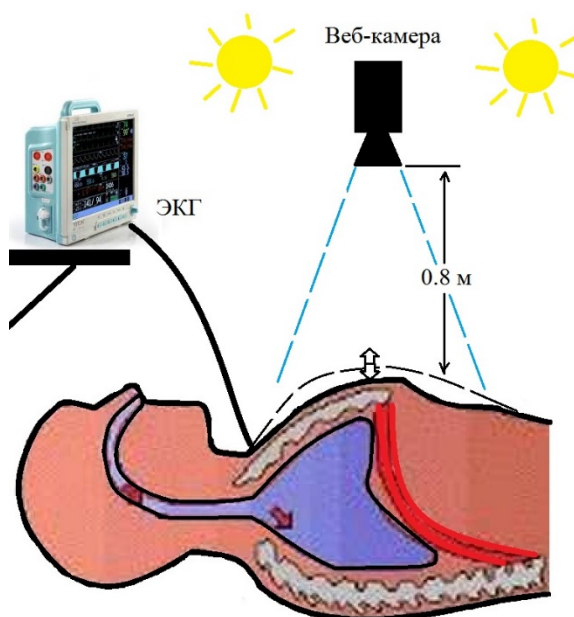


Рис. 1. Схематическое изображение эксперимента

В ходе эксперимента производилась одновременная запись электрокардиограммы и видеоизображений. В качестве источников освещения использовались люминесцентные офисные лампы дневного света, закрепленные на потолке. Каждый испытуемый лежал на расстоянии 0,8 метра напротив веб-камеры.

Видеорегистрация каждого эксперимента была проведена с использованием веб-камеры Logitech C920, которая позволяет регистрировать цветные RGB изображения (24 бита, 8 бит на цветовой канал), с частотой дискретизации около 30 кадров в секунду. Видеоизображения принимались с разрешением 640×480 пикселей. Каждое видеоизображение сохранялось без сжатия в видеоконтейнер.avi.

Запись электрокардиограммы осуществлялась при помощи прикроватного кардиомонитора МПР 6-03 (ООО «Тритон-электроникс», Россия). Он позволяет регистрировать сигнал электрокардиограммы в реальном времени с частотой дискретизации 128 Гц. Сигнал электрокардиограммы снимался по первому отведению. Все записи сохранялись в локальную базу данных. Для анализа использовались оценки частоты дыхания, полученные при помощи встроенного в прибор программного обеспечения. Передача данных с кардиомонитора на ПК осуществлялась по протоколу Ethernet. Примеры наиболее распространенных методов определения сигнала дыхания по данным ЭКГ представлены на рис. 2.

Видеозапись исследований и расчёты проведены с использованием программного обеспечения разработанного на языке программирования Python 2.7. Приложение использует следующие популярные библиотеки: OpenCV 3.1, numpy, pandas, matplotlib и др. Расчеты производились на персональном компьютере со следующими характеристиками: процессор Intel Core i7 4770, 3,4 ГГц, ОЗУ: 8 Gb DDR4.

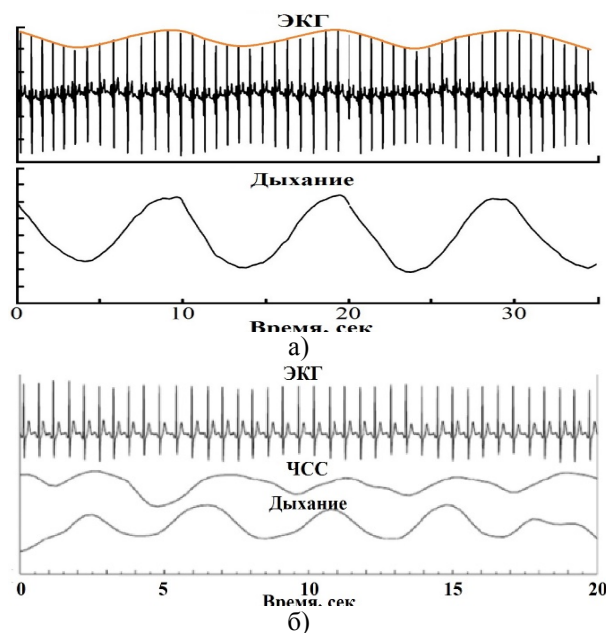


Рис. 2. Методы определения дыхания по ЭКГ. а) по огибающей R-R пиков, б) по изменениям частоты сердечных сокращений

МЕТОДЫ

Перед анализом сигналы движений грудной клетки были интерполированы с частотой 30 Гц при помощи линейной интерполяции.

Для оценки частоты дыхания по интерполированным сигналам были построены спектрограммы с использованием окна Ханна длительностью 30 секунд с перекрытием 1 секунда [5]. Таким образом точность определения средней частоты дыхания составила 0.033 Гц.

Частота дыхания определялась как максимальная частота в диапазоне от 0 до 1 Гц, что соответствует предельным физиологическим значениям от 0 до 60 вдохов в минуту, соответственно. Пример оценки частоты дыхания по спектру представлен на рис. 3.

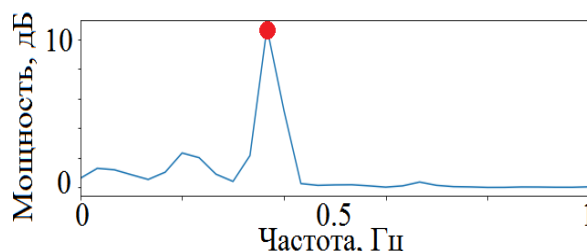


Рис. 3. Спектр сигнала дыхания по данным видеоизображений, красная точка – максимум соответствующей текущей частоте дыхания

РЕЗУЛЬТАТЫ

В предшествующих работах [6] было показано, что по данным ЭКГ можно с высокой точностью регистрировать среднее значение частоты дыхания.

В настоящей секции приводятся результаты сравнительного анализа сигналов частоты дыхания полученных по данным ЭКГ и по данным движений грудной клетки на видеоизображении.

На рис. 4 представлены спектрограммы сигналов дыхания регистрируемых по данным видеоизображений. Черной линией показана средняя частота дыхания по данным ЭКГ. Красной линией показана средняя частота дыхания, по данным видео, определяемая как показано выше.

Можно отметить, что на большинстве временных отрезков средние значения частоты дыхания по движениям на видео практически совпадают с оценками, полученными по ЭКГ.

Участки с резкими изменениями оценок дыхания могут быть обусловлены ограничениями точности используемых методов, а также наличием шумов в ЭКГ сигнале, или не связанных с дыханием движений человека на видеоизображении.

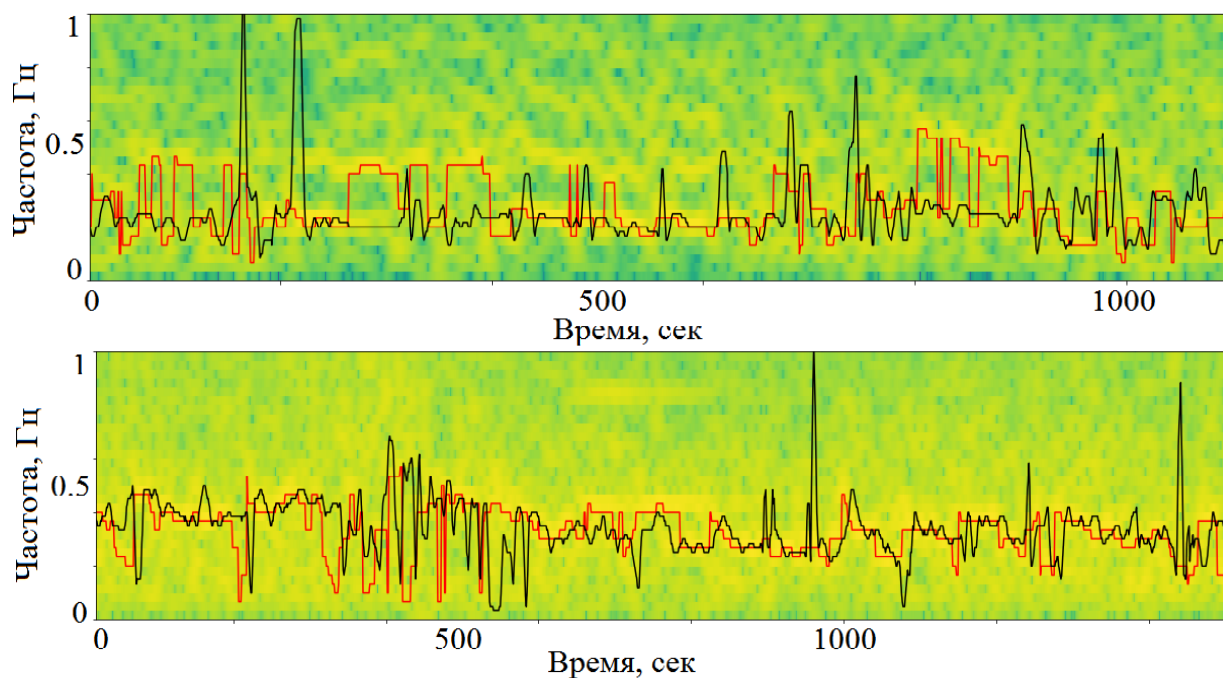


Рис. 4. Спектрограммы сигналов дыхания, с изображением средней частоты дыхания: красная линия – по данным видео, черная линия – по данным ЭКГ

В таблице 1 представлены средние значения частоты дыхания, полученные по данным ЭКГ и движениям грудной клетки на видеоизображении. Для получения объективной оценки при расчете средней частоты дыхания, из исследования вручную были исключены участки, соответствующие резким изменениям частоты дыхания.

Таблица 1.

Средние значения частоты дыхания

№ испытуемого	По видео, вдох./мин.	По ЭКГ, вдох./мин.
1	19,3	20,4
2	16,5	15,1
3	10,1	15,0
4	10,1	14,0

Таким образом точность оценки частоты дыхания по данным видео составила 2,8 вдохов в минуту.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе проведено пилотное исследование возможности оценки частоты дыхания по данным видеоизображений.

В работе показано, что оценки средней частоты дыхания по данным видеоизображений на большинстве временных интервалов сопоставимы с оценками получаемыми по данным ЭКГ.

Результаты исследования указывают на перспективность этого направления. Определение дыхания по видеоизображениям может быть

использовано как альтернативный или дополнительный способ мониторинга или диагностики дыхания человека.

Расхождения получаемых оценок возможны из-за различия физических принципов регистрации, наличия помех, вызванных движениями человека, а также ограничений точности метода измерения частоты дыхания по ЭКГ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физиология человека (в 3-х томах) / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – М.: Мир, 2005. Т. 2. 314 с.
2. Фундаментальная и клиническая физиология. / Под ред. А.Г.Камкина и А.А. Каменского. – М.: Академия. 2004. 1072 с.
3. Сатишур О.Е. Механическая вентиляция легких. М: Мед. лит., 2007. 352 с.
4. Zhu Z., Fei J., Pavlidis I. Tracking human breath in infrared imaging // Proceedings of the fifth Symposium on SIP-7 773 CSNDSP 2010 Bioinformatics and Bioengineering, 2005, pp. 227-231.
5. Chatterjee A., Prathosh A.P., Praveena P., Upadhy V. A. vision based method for real-time respiration rate estimation using a recursive fourier analysis.// Proceedings of 2016 IEEE 16th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 2016, pp.143-149
6. Mazzanti B., Lamberti C., de Bie J. Validation of an ECG derived respiration monitoring method // Computers in Cardiology, vol. 30, 2003, pp.613-616.